

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hujan

2.1.1 Definisi Hujan

Pengertian hujan ialah peristiwa sampainya air dalam bentuk cair maupun padat yang dicurahkan dari atmosfer ke permukaan bumi. Garis pada peta yang menghubungkan tempat-tempat yang memiliki curah hujan yang sama disebut isohyet. (Bambang Triatmojo, 1998)

Secara sederhana, proses hujan berasal dari penguapan air laut dan permukaan akibat penyinaran matahari. Kemudian, mengalami pengembunan (kondensasi) membentuk titik air yang berkumpul menjadi awan. Jika titik-titik air sudah berat turunlah dalam bentuk hujan

Curah hujan diukur dengan menggunakan *rain gauge* (*fluviometer*). Air hujan ditampung pada suatu wadah tersebut dituangkan ke dalam tabung pengukur yang ditandai dengan skala milimeter. Tiap hari air yang terkumpul dimasukkan ke tabung ukuran. Dari tabung tersebut dapat dilihat banyaknya curah hujan harian.

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Apabila dikatakan intensitasnya besar berarti hujan lebat dan kondisi ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan banjir, longsor dan efek negatif terhadap tanaman.

Hujan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di sungai dan di dalam tampungan baik di atas maupun dibawah permukaan tanah. Jumlah dan

variasi debit sungai tergantung pada jumlah, intensitas dan distribusi hujan. Terdapat hubungan antara debit sungai dan curah hujan yang jatuh di DAS yang bersangkutan. Apabila data pencatatan debit tidak ada, data pencatatan hujan dapat digunakan untuk memperkirakan debit aliran.

2.1.2 Klasifikasi Hujan

a. Klasifikasi Hujan Berdasarkan Ukuran Butirnya

- Hujan gerimis → diameter butirannya kurang dari 0,5 mm
- Hujan salju → terdiri dari kristal-kristal es yang suhunya berada dibawah 0 derajat celcius
- Hujan batu es → curahan batu es yang turun dalam cuaca panas dari awan yang suhunya di bawah 0 derajat celcius
- Hujan deras → curahan air yang turun dari awan dengan suhu diatas 0 derajat celcius dengan diameter kurang dari 7 mm

b. Klasifikasi Hujan Berdasarkan proses terjadinya

- Hujan siklonal → hujan yang terjadi karena udara panas yang naik disertai dengan angin berputar
- Hujan Senithal → hujan yang sering terjadi di daerah sekitar equator (garis khatulistiwa), akibat pertemuan angin pasant timur laut dan angin pasat tenggara. Kemudian angin tersebut naik dan membentuk gumpalan-gumpalan awan di sekitar ekuator yang berakibat awan menjadi jenuh dan akhirnya turunlah hujan
- Hujan Orografis → hujan yang terjadi karena angin yang mengandung uap air yang bergerak horizontal. Angin tersebut naik menuju pegunungan, suhu udara menjadi dingin sehingga terjadi kondensasi. Terjadilah hujan disekitar pegunungan
- Hujan Frontal → hujan yang terjadi apabila massa udara yang dingin bertemu dengan massa udara yang panas. Tempat pertemuan antara kedua massa itu disebut bidang front. Karena lebih berat, massa udara dingin

menjadi lebih berada di bawah. Di sekitar bidang front inilah sering terjadi hujan lebat yang disebut hujan frontal

- Hujan Muson → atau sering juga disebut hujan musiman yang terjadi karena angin musim. Penyebab terjadinya angin musim adalah karena adanya pergerakan semu tahunan matahari antara garis balik utara dan garis balik selatan. Di Indonesia, hujan muson terjadi di bulan oktober sampai april.

2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Setiap sungai mempunyai daerah aliran sungai (DAS) dan setiap sungai tersebut memiliki karakteristik dan kondisi DAS yang berbeda-beda. DAS merupakan daerah yang berada di sekitar sungai. Apabila turun hujan di daerah tersebut, maka air hujan yang turun akan mengalir ke sungai-sungai yang ada disekitar daerah yang dituruni hujan. Karena manfaat DAS adalah menerima, menyimpan, dan mengalirkan hujan yang jatuh melalui sungai.

2.2.1 Definisi Umum DAS

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang menerima, menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkan ke laut atau danau melalui satu sungai utama. Dengan demikian suatu DAS akan dipisahkan dari wilayah DAS lain di sekitarnya oleh batas alam (topografi) berupa punggung bukit atau gunung. Seluruh wilayah daratan habis terbagi ke dalam unit-unit Daerah Aliran Sungai (DAS).

Daerah Aliran Sungai (DAS) secara umum didefinisikan sebagai suatu hamparan wilayah/ kawasan yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit) yang menerima, mengumpulkan air hujan, sedimen dan unsur hara serta mengalirkannya melalui anak-anak sungai dan keluar dari sungai utama ke laut atau danau. DAS atau daerah aliran sungai adalah bagian permukaan bumi yang airnya mengalir ke dalam sungai induk pada saat terjadi hujan. DAS meliputi sungai beserta beberapa anak sungainya yang ada pada suatu daerah. Dengan kata lain,

dapat diartikan bahwa DAS adalah wilayah tampungan air yang masuk ke wilayah air sungai yang lebih besar dan berakhir di muara sungai.

Dari beberapa definisi di atas, dapat dikemukakan bahwa DAS merupakan ekosistem, dimana unsur organisme dan lingkungan biofisik serta unsur kimia berinteraksi secara dinamis dan di dalamnya terdapat keseimbangan inflow dan outflow dari material dan energi. Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan wilayah yang paling tepat bagi pembangunan, tempat bertemunya kepentingan nasional dengan kepentingan setempat. Pembangunan ekonomi yang mengolah kekayaan alam Indonesia harus senantiasa memperhatikan bahwa pengelolaan sumber daya alam juga bertujuan untuk memberi manfaat pada masa yang akan



datang. Oleh sebab itu, sumber daya alam terutama hutan, tanah, dan air harus tetap dijaga agar kemampuannya untuk memperbaiki diri selalu terpelihara.

Gambar 2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

2.2.2 Klasifikasi Daerah Aliran Sungai

Kedudukan aliran sungai dapat di klasifikasikan secara sistematis berdasarkan urutan daerah aliran. Setiap aliran sungai yang tidak bercabang disebut sub-DAS urutan/orde pertama. Sungai di bawahnya yang hanya menerima aliran

air dari sub-DAS urutan pertama disebut sub-DAS urutan kedua, dan kemudian seterusnya.

Sistem klasifikasi Horton berawal dari urutan pertama dan selanjutnya meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah percabangan aliran air atau anak-anak sungai. Dengan demikian, semakin besar angka urutan, semakin luas wilayah sub-DAS dan semakin banyak percabangan sungai yang terdapat di dalam DAS yang bersangkutan. Meskipun tampak bahwa urutan sub-DAS berkaitan erat dengan karakteristik DAS lainnya, kebanyakan pakar hidrologi beranggapan bahwa tidak ditemukan bukti yang cukup untuk mengaitkan sistem urutan sub-DAS dengan perilaku air larian daerah tersebut.

Daerah aliran sungai dapat dibedakan berdasarkan bentuk atau pola dimana bentuk ini akan menentukan pola hidrologi yang ada. Corak atau pola DAS dipengaruhi oleh faktor geomorfologi, topografi dan bentuk wilayah DAS.

Klasifikasi bentuk DAS sebagai berikut :

a. DAS bulu burung

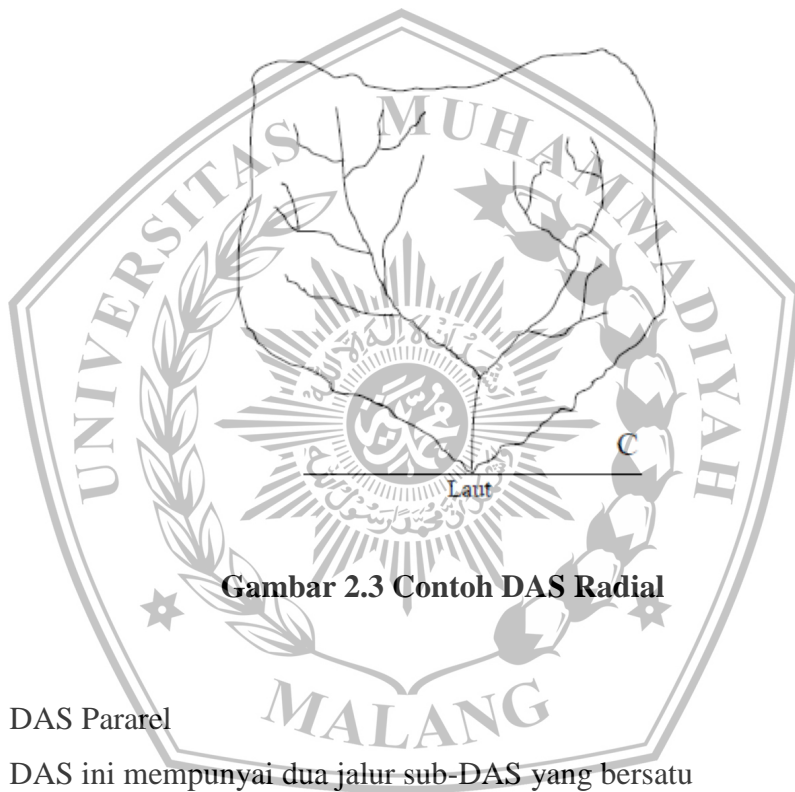
Anak sungainya langsung mengalir ke sungai utama. DAS atau sub-DAS ini mempunyai debit banjir yang relatif kecil karena waktu tiba yang berbeda.



Gambar 2.2 Contoh DAS Bulu Burung

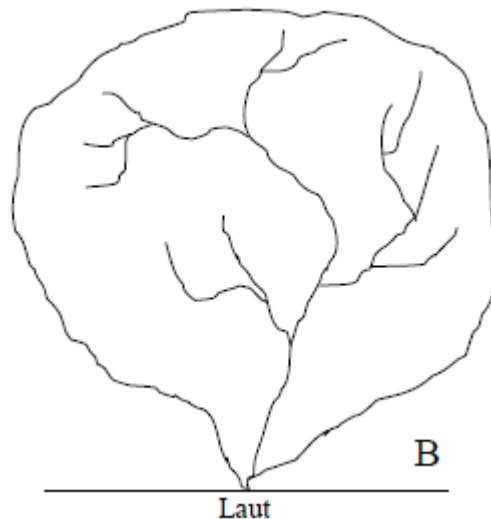
b. DAS Radial

Anak sungainya memusat di satu titik secara radial sehingga menyerupai bentuk kipas atau lingkaran. DAS atau sub-DAS radial memiliki banjir yang relatif besar tetapi tidak lama.



c. DAS Pararel

DAS ini mempunyai dua jalur sub-DAS yang bersatu



Gambar 2.4 Contoh DAS Pararel

Daerah aliran sungai (DAS) adalah kumpulan dari beberapa sub-DAS. Sub-DAS merupakan suatu wilayah kesatuan ekosistem yang terbentuk secara alamiah, air hujan meresap atau mengalir melalui sungai hingga ke hilir dan ke pelosok daerah.

2.3 Hidrologi

2.3.1 Umum

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Penerapan ilmu hidrologi dapat dijumpai dalam beberapa kegiatan sipil seperti perencanaan dan operasi bangunan air, penyediaan air untuk berbagai keperluan (air bersih, irigasi, perikanan dan peternakan), pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, pengendalian erosi dan sedimentasi, transportasi air, drainase dan limbah dll. (Bambang Triatmojo, 1998)

Hidrologi banyak dipelajari oleh para ahli di bidang teknik sipil dan pertanian. Ilmu tersebut dapat dimanfaatkan untuk beberapa kegiatan berikut :

1. Memperkirakan besarnya banjir yang ditimbulkan oleh hujan deras, sehingga dapat direncanakan bangunan-bangunan untuk mengendalikannya

seperti pembuatan tanggul banjir, saluran drainase, gorong-gorong dan jembatan.

2. Memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan oleh suatu jenis tanaman sehingga dapat direncanakan bangunan untuk melayani kebutuhan tersebut.
3. Memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air (mata air, sungai dan danau). Untuk dapat dimanfaatkan guna berbagai keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan dan industri), irigasi, pembangkit listrik tenaga air, perikanan, peternakan dsb. (Bambang Triatmojo, 1998)

2.3.2 Siklus Hidrologi

Salah satu bentuk presipitasi yang terpenting di Indonesia adalah hujan (*rainfall*). Air laut yang menguap karena adanya radiasi matahari dan awan yang terjadi oleh uap air, bergerak di atas daratan akibat adanya gerakan angin. Presipitasi yang terjadi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan atau salju yang jatuh ke tanah yang berbentuk limpasan (*runoff*) yang mengalir kembali ke laut. Curah hujan yang jatuh di atas permukaan daerah aliran sungai, selalu mengikuti proses yang disebut dengan Siklus Hidrologi (CB Soemarto, 1986)

Dalam kaitannya dengan siklus hidrologi, hujan yang jatuh di atas permukaan tanah akan berwujud dalam bentuk evapotranspirasi, limpasan permukaan (*surface runoff*), infiltrasi, perkolasi dan aliran air tanah. Untuk di tingkat DAS parameter-parameter ini akhirnya menjadi aliran sungai.

Selanjutnya dalam kaitannya dengan analisis hujan, maka ada 5 besaran pokok yang perlu dikaji dan dipelajari (CB Soemarto, 1986), yaitu :

- a. Intensitas (i), adalah laju curah hujan yaitu tinggi air per satuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, mm/hari.
- b. Lama waktu atau durasi (t), adalah lamanya curah hujan terjadi dalam menit /jam.

- c. Tinggi hujan (d), adalah banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air diatas permukaan datar, dalam mm.
- d. Frekuensi, adalah frekuensi kejadian terjadinya hujan, biasanya dinyatakan dengan waktu ulang (*return period*)(T), misalnya sekali dalam T tahun
- e. Luas (A), adalah daerah tangkapan curah hujan, dalam km²

2.4 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan bidang yang sangat rumit dan kompleks. Hal ini dikarenakan oleh ketidakpastian siklus hidrologi itu sendiri, rekaman data dan kualitas data. Karena hujan adalah kejadian yang tidak dapat diprediksi secara pasti seberapa besar curah hujan yang akan terjadi pada suatu periode waktu, maka diperlukan analisis hidrologi (Bambang Triatmodjo, 1998)

2.4.1 Hujan Rencana

Dalam analisis hujan-aliran untuk memperkirakan debit banjir rencana diperlukan masukan hujan rencana ke dalam suatu sistem DAS. Pada perencanaan bangunan air misalnya bangunan pelimpah suatu bendungan, perencanaan tanggul banjir, analisis penelusuran banjir (*flood routing*) di waduk dan sungai, diperlukan hidrograf banjir rencana dengan periode ulang tertentu. Hidrograf banjir dapat diperoleh dengan menggunakan metode hidrograf satuan. Dan data masukan yang diperlukan adalah hidrograf hujan rencana.

Pencatatan hujan biasanya dalam bentuk data hujan harian, jam-jaman atau menitan. Pencatatan dilakukan dengan interval waktu pendek supaya distribusi hujan selama terjadinya hujan dapat diketahui. Distribusi hujan yang terjadi digunakan sebagai masukan untuk mendapatkan hidrograf aliran. Dalam analisis hidrograf banjir rencana dengan memasukkan hujan rencana dengan periode ulang tertentu yang diperoleh dari analisis frekuensi, tapi biasanya parameter hujan seperti durasi dan pola distribusi tidak diketahui, padahal parameter tersebut sangat diperlukan (Bambang Triatmodjo, 1998).

- Data Hujan

Beberapa dari hasil presipitasi, hujan lah yang paling biasa diukur dari hasil pengukuran. Karena menurut pakar-pakar hidrologi, dari beberapa hasil presipitasi tersebut yakni produk dari awan yang turun sebagai air hujan ataupun salju (sejauh tak menyangkut salju selanjutnya dianggap sebagai hujan), dan hanya seperempatnya yang kembali ke laut melalui limpasan langsung (*direct runoff*) atau melalui aliran air tanah (*ground water flow*). Jumlah hujan yang terjadi dalam suatu DAS merupakan besaran yang sangat penting dalam sistem DAS tersebut, karena hujan menjadi masukan yang utama ke dalam suatu DAS. Walaupun kita bisa mengukur secara langsung dengan menampung air hujan yang jatuh, bukan berarti kita menampung hujan di seluruh daerah tangkapan air, karena hujan di suatu daerah hanya dapat diukur di beberapa titik yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pengukurannya harus dilakukan seteliti mungkin.

Dalam menganalisisnya, pada umumnya tidak hanya data hujan kumulatif harian saja yang diperlukan, tapi juga diperlukan data hujan jam-jaman bahkan menitan. Serta, demi mendapat data-data atau perkiraan besaran hujan yang baik terjadi dalam suatu DAS tersebut, maka diperlukan beberapa stasiun hujan.

Data-data hujan yang telah dikumpulkan oleh stasiun-stasiun hujan haruslah merupakan data yang mendukung kesalahan yang sekecil mungkin, supaya hasil analisis nantinya tidak diragukan sebagai acuan dalam perencanaan bahkan perancangan.

- Uji Konsistensi

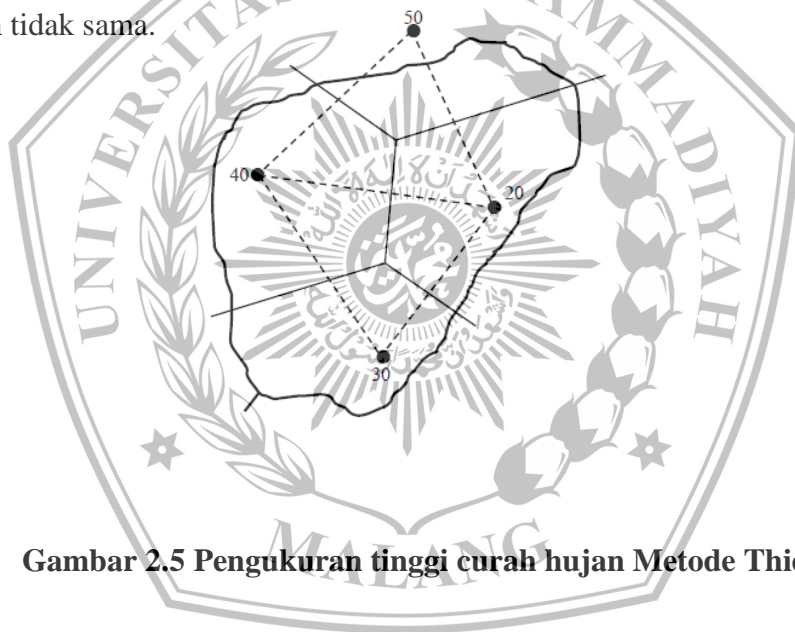
Satu seri data hujan untuk satu stasiun tertentu, dimungkinkan sifatnya tidak konsisten. Data semacam ini tidak dapat langsung di analisis, karena sebenarnya data didalamnya berasal dari populasi data yang berbeda. Tidak konsistennya data seperti ini dapat saja terjadi karena alat ukur yang diganti atau dipindahkan dari tempatnya, atau situasi lokasi penempatan alat ukur mengalami perpindahan. (Bambang Triatmojo, 1998)

Metode yang digunakan untuk uji konsistensi data adalah kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan tahunan

kumulatif di stasiun y terhadap referensi x . Stasiun referensi biasanya adalah nilai rerata dari beberapa stasiun didekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat kartesian x - y , dan kurva yang terbentuk diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan (*trend*). Apabila garis yang terbentuk lurus berarti pencatatan di stasiun y adalah konsisten.

2.4.2 Penentuan Hujan Kawasan Metode Poligon Thiessen

Stasiun penakar hujan hanya memberi kedalaman hujan di titik mana stasiun tersebut berada, sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukur yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun tidak sama.



Gambar 2.5 Pengukuran tinggi curah hujan Metode Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari setiap stasiun.

Pembentukan poligon Thiessen adalah sebagai berikut :

- a. Stasiun-stasiun hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5
- b. Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus (garis terputus) sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama.
- c. Dibuat garis berat sisi-sisi segitiga seperti ditunjukkan dengan garis penuh pada gambar 2.5
- d. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon.
- e. Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada di dalam poligon
- f. Jumlah dari hitungan pada butir e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan rerata daerah tersebut, yang dalam bentuk matematik mempunyai bentuk berikut ini.

Perhitungan poligon thiessen adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.1)$$

Dengan,

P = hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah stasiun 1, 2, 3, ..., n

Metode poligon Thiessen ini banyak digunakan untuk menghitung rerata kawasan. Poligon Thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu.

Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan, seperti pemindahan atau penambahan stasiun, maka harus dibuat lagi poligon Thiessen yang baru.

2.4.3 Penentuan Analisis Frekuensi

Penentuan jenis distribusi digunakan untuk mengetahui suatu rangkaian data cocok untuk suatu sebaran tertentu dan tidak cocok untuk sebaran lain. Untuk mengetahui kecocokan terhadap suatu jenis sebaran tertentu, perlu dikaji terlebih dahulu ketentuan-ketentuan yang ada, yaitu meliputi :

1. Menghitung parameter-parameter statistik Cs dan Ck (untuk mengetahui analisis frekuensi yang dipakai)

2. Koefisien kepencengan/*skewness* (Cs) dihitung menggunakan persamaan :

$$Cs = \frac{n \sum (X - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.2)$$

3. Koefisien kepuncakan / *curtosis* (Ck) dihitung menggunakan persamaan :

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2.3)$$

4. Koefisien variasi (Cv)

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.4)$$

Dengan,

n = jumlah data

\bar{X} = rata-rata data hujan (mm)

S = simpangan baku (standar deviasi)

X = data hujan (mm)

Tabel 2.1 Persyaratan pemilihan jenis distribusi/ Sebaran frekuensi

No	Sebaran	Syarat
1	Normal	$C_s = 0$
2	Log Normal	$C_s = 3 C_v$
3	Gumbel	$C_s = 1.1396$
		$C_k = 5.4002$
4	Bila tidak ada yang memenuhi syarat maka di gunakan sebaran Log Person type III	

Sumber: Sri Harto (1993)

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi yaitu Distribusi Normal, Log Normal, Log Person Type III, dan Gumbel

1. Distribusi Normal

Distribusi Normal / kurva normal juga disebut dengan Distribusi Gauss. Fungsi densitas peluang normal (PDF = *probability density function*) yang paling dikenal ialah bentuk bell dan dikenal sebagai distribusi normal. PDF distribusi normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2.5)$$

Dengan,

$P(X)$ = fungsi densitas peluang normal (ordinat kurva normal)

X = variabel acak kontinu

μ = rata-rata nilai X

σ = simpangan baku dari nilai X

Analisis kurva normal cukup menggunakan parameter statistik σ dan μ . Bentuk kurvanya simetris terhadap $X = \mu$, dan grafiknya selalu di atas sumbu datar

X, serta mendekati sumbu X datar dan dimulai dari $X = \mu + 3\sigma$ dan $X = \mu - 3\sigma$. Nilai mean = median = modus. Nilai mempunyai batas : $-\infty < X < +\infty$

2. Distribusi Log Normal

Jika variabel $Y = \log X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Pdf (*probability density function*) untuk distribusi Normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{X \sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(Y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad (2.6)$$

Dengan,

$P(X)$ = peluang Log Normal

X = nilai varian pengamatan

μ_y = nilai rata-rata populasi y

σ_y = deviasi standar nilai varian Y

Apabila nilai $P(X)$ digambarkan pada kertas, maka peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan :

$$P(X) = \mu + KT\sigma \quad (2.7)$$

Yang dapat didekati dengan :

$$P(X) = Y + KTS \quad (2.8)$$

$$P(X) = \frac{YT - T}{S} \quad (2.9)$$

Dengan,

$P(X)$ = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

Y = nilai rata-rata hitung varian

S = deviasi standar niali varian

KT = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe modal matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

3. Distribusi Log Person III

Salah satu distribusi dari serangkaian distribusi dikembangkan Person yang menjadi perhatian ahli sumberdaya air adalah Log-Person III. Pada Log-Person type III, parameter statistik yang diperlukan pada distribusi ini adalah harga rata-rata, standar deviasi dan koefisien kepencengan.

Untuk menghitung banjir rencana dalam praktek, *The Hidrology Comittee of the Water Resource Council*, menganjurkan pertama kali mentransformasi data ke nilai-nilai logaritmanya, kemudian menghitung parameter-parameter statistiknya.

Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Log Person III, mempunyai langkah – langkah :

- Ubah data ke dalam bentuk logaritmis :

$$X = \log X \quad (2.10)$$

- Hitung harga rata – rata :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2.11)$$

- Hitung harga simpangan baku

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n - 1}} \quad (2.12)$$

- Menghitung koefisien kemencengan (*skewness*)

$$Cs = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot s_1^3} \quad (2.13)$$

- Menghitung logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus :

$$\log Q = \overline{\log X} + G \cdot s_1 \quad (2.14)$$

- Mencari antilog dari log Q untuk mendapatkan debit banjir dengan waktu balik yang dikehendaki Q_T .
dengan :

Log Q = Logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun

Log X = rata-rata logaritma data

N = banyaknya tahun pengamatan

S_1 = simpangan baku data

C_s = koefisien kepengcengan

G = koefisien frekuensi

Tabel 2.3 Nilai K untuk distribusi Log Person III

Koef G	Periode Ulang (Tahun							
	1.0101	1.25	2	5	10	25	50	100
	Presentase peluang terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.667	-0.636	-0.396	0.420	0.180	2.278	3.152	4.051
2.8	-0.714	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973
2.6	-0.769	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	2.889
2.4	-0.832	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800
2.2	-0.905	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705
2.0	-0.990	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.192	3.605
1.8	-1.087	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.6	-1.197	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388
1.4	-1.318	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-1.449	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149
1.0	-1.588	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022
0.8	-1.733	-0.856	-0.132	0.781	1.336	1.993	2.453	2.891

Koef G	Periode Ulang (Tahun							
	1.0101	1.25	2	5	10	25	50	100
	Presentase peluang terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
0.6	-1.880	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-2.029	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.2	-2.178	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472
0.0	-2.326	-0.824	0.000	0.824	1.282	1.751	2.051	2.326
-0.2	-2.472	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178
-0.4	-2.615	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.6	-2.755	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.8	-2.891	-0.78	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-1.0	-3.022	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	-2.149	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449
-1.4	-2.271	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.6	-2.388	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	-3.499	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-2.0	-3.605	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.2	-3.705	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905
-2.4	-3.800	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832
-2.6	-3.889	-0.49	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.8	-3.973	-0.469	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
-3.0	-7.051	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

Sumber: Sri Harto (1993)

4. Distribusi Gumbel

Gumbel menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ mempunyai fungsi distribusi ekponensial ganda.

$$P(X) = X + S * K \quad (2.15)$$

Dengan,

$P(X)$: Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T - tahunan

\bar{X} : Harga rata-rata *sampel* data curah hujan (dalam hal ini curah hujan harian)

s : Simpangan baku (*standar deviasi*) data sampel curah hujan

K : Faktor frekuensi / faktor probabilitas

Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$K = \frac{Y_{tr} - Y_n}{S_n} \quad (2.16)$$

Dengan,

Y_n : *Reduced mean* yang tergantung jumlah sampel (lampiran Tabel 2.4)

S_n : *Reduced standar deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel (lampiran Tabel 2.5)

Y_{tr} : *Reduced variate* mempunyai nilai yang berbeda pada setiap periode ulang (lampiran Tabel 2.6)

Tabel 2.5 Reduced Mean (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,512	0,515	0,518	0,520	0,522
20	0,523	0,525	0,526	0,528	0,529	0,530	0,532	0,533	0,534	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,539	0,540	0,542	0,541	0,542	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,545	0,546	0,546	0,547	0,547	0,548
50	0,548	0,548	0,549	0,549	0,550	0,550	0,550	0,551	0,551	0,551
60	0,552	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	0,554	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556	0,556
80	0,556	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,561	0,561

Sumber: Sri Harto (1993)

Tabel 2.6 Reduced Standar Deviation (Sn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,967	0,983	0,997	1,009	1,020	1,031	1,041	1,049	1,056
20	1,062	1,069	1,075	1,081	1,086	1,091	1,096	1,100	1,104	1,108
30	1,112	1,115	1,119	1,122	1,125	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138
40	1,121	1,143	1,145	1,148	1,149	1,151	1,153	1,155	1,157	1,159
50	1,160	1,162	1,163	1,165	1,166	1,168	1,169	1,170	1,172	1,173
60	1,174	1,175	1,177	1,178	1,179	1,180	1,181	1,182	1,183	1,184
70	1,854	1,186	1,187	1,188	1,189	1,189	1,190	1,191	1,192	1,193
80	1,193	1,194	1,194	1,959	1,196	1,197	1,198	1,198	1,199	1,200
90	1,201	1,201	1,202	1,202	1,203	1,203	1,204	1,204	1,205	1,206
100	1,206	1,206	1,207	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209

Sumber: Sri Harto (1993)

Tabel 2.7 Reduced Variated (Ytr)

Periode Ulang (Tr)	Recuded Variate (Ytr)	Periode Ulang (Tr)	Recuded Variate (Ytr)
Tahun	(Ytr)	Tahun	(Ytr)
2	0.336	25	3.1993
5	1.5004	50	3.9028
10	2.251	100	4.6012

Sumber: Sri Harto (1993)

2.4.4 Pengeplotan Data

Pengeplotan data merupakan nilai probabilitas yang dimiliki oleh masing-masing data yang diplot. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk menentukan posisi pengeplotan yang sebagian besar dibuat secara empiris. Untuk keperluan penentuan posisi ini, data hidrologi (data hujan dan banjir) yang telah ditabelkan diurutkan dari besar ke kecil (berdasarkan peringkat m), dimulai dengan $m=1$ untuk data dengan nilai tertinggi $m=n$ (n adalah jumlah data).

2.4.5 Uji Distribusi Frekuensi

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah Smirnov Kolmogorov dan Chi-Kuadrat

a. Smirnov Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non-parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan peluang dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3) \text{ dan seterusnya}$$

2. Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya)

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$$X_3 = P'(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

3. Dari kedua peluang nilai tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D \text{ maksimum} = \{ P(X_n) - P'(X_n) \} \quad (2.17)$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov*) tentukan harga D_0 dari tabel kala ulang

Tabel 2.8 Nilai kritis D_0 untuk uji Smirnov-Kolmogorov

N	Derajat Kepercayaan, α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber (Suripin,2004)

b. Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 , yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$X^2 \text{ hit} = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.18)$$

Dengan :

X^2_{hit} = parameter chi-kuadrat terhitung

G = jumlah sub kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Jumlah kelas distribusi dihitung dengan persamaan Sturges :

$$K = 1 + 3,332 \log n \quad (2.19)$$

Dengan :

K = jumlah kelas

n = jumlah data

Derajat bebas (*number of degrees of freedom*)

$$V = K - h - 1$$

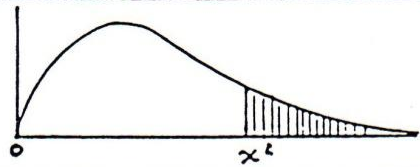
Dimana :

h = jumlah parameter = 2

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut :

- a) Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima
- b) Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima
- c) Apabila peluang berada diantara 1-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan data.

Tabel 2.9 Harga Chi-Square (χ^2) untuk Chi-Square test

Degrass of freedom						Probability of a deviation grether th χ^2
	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001	
1	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827	
2	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815	
3	4,642	6,251	7,815	11,345	16,268	
4	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465	
6	8,558	10,645	12,592	16,812	22,547	
7	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322	
8	11,030	13,362	15,507	20,090	26,125	
9	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877	
10	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588	
11	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264	
12	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909	
13	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528	
14	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123	
15	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697	
16	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252	
17	21,615	24,769	27,587	33,409	40,790	
18	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312	
19	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820	
20	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315	

Sumber (Shalin,1966)

2.5 Distribusi Hujan Jam-jaman

Untuk mengkonversi data hujan harian ke curah hujan jam-jaman dibutuhkan model curah hujan jam-jaman yang telah ada (diperoleh dari pengukuran curah hujan otomatis) pada stasiun terdekat, sehingga diharapkan memiliki pola curah hujan yang sama dengan pola curah hujan daerah studi.

Dikarenakan pada studi perencanaan ini tidak memiliki data curah hujan jam-jaman maka untuk mengkonversi curah hujan rencana ke curah hujan jam-jaman menggunakan metode PSA 007.

Untuk mendapatkan curah jam-jaman selanjutnya sesuai dengan PSA 007, distribusi hujan disusun dalam bentuk genta, dimana hujan tertinggi ditempatkan di tengah, tertinggi kedua di sebelah kiri, tertinggi ketiga di sebelah kanan dan seterusnya.

Intensitas hujan yang disarankan PSA 007 tersaji pada Tabel 2.10

Tabel 2.10 Intensitas Hujan dalam % yang Disarankan PSA 007

No	Jam Ke	Distribusi Hujan						
		T5thn	10	25	T50thn	T100thn	T1000thn	CMB
1	0.50	2	2	2	2	2	2	2
2	1.00	2	2	2	2	3	3	3
3	1.50	3	3	3	3	4	4	5
4	2.00	4	5	5	6	7	7	9
5	2.50	12	12	13	13	13	13	11
6	3.00	59	57	55	53	52	49	45
7	3.50	7	7	7	7	7	8	10
8	4.00	3	4	5	6	5	7	8
9	4.50	2	2	3	3	3	3	3
10	5.00	2	2	2	2	2	2	2
11	5.50	2	2	2	2	1	1	1
12	6.00	2	2	1	1	1	1	1

Sumber: Kementrian PU

2.6 Pengukuran Elevasi Muka Air

Elevasi muka air distasiun pengukuran merupakan parameter penting dalam hirometri. Elevasi tersebut diukur dengan datum (elevasi referensi) yang bisa berupa elevasi muka air laut rerata atau datum lokal (Bench Mark). Alat pencatat elevasi muka air dapat berupa papan duga dengan meteran (Staff Gauge) atau alat pengukur elevasi muka air secara otomatis (AWLR, Automatic Water Level

Recorder). Pengamatan muka air dilakukan di lokasi dimana akan dibuat bangunan air 25 seperti bendungan, bangunan pengambilan air, atau ditempat penting lainnya. Tujuan pengukuran tinggi muka air adalah untuk meramalkan aliran pada daerah banjir, merencanakan dimensi bangunan yang akan dibangun pada sungai tersebut atau pada lokasi yang ada didekatnya.

1. Papan Duga

Papan duga merupakan alat paling sederhana untuk mengukur elevasi muka air. Alat ini terbuat dari kayu atau plat baja yang diberi ukuran skala dalam sentimeter, yang dapat dipasang ditepi sungai atau pada suatu bangunan seperti jembatan, bendung dan sebagainya. Angka nol pada papan duga ditempatkan pada titik terendah dari skala sehingga semua pembacaan adalah positif. Disuatu sungai dimana perbedaan elevasi muka air tertinggi dan terendah besar, maka pemasangan papan duga dapat dilakukan secara bertingkat. Untuk sungai yang mempunyai tebing teratur dan saluran buatan, papan duga dapat dipasang secara miring pada tebing dengan skala ukuran memperhatikan kemiringan tebing. Pengamatan elevasi muka air pada papan duga biasanya dilakukan sekali dalam sehari. Meskipun penggunaan alat ini murah, tapi mempunyai kelemahan yaitu tidak tercatatnya muka air pada jam – jam lain yang mungkin mempunyai informasi penting, misalnya puncak banjir. (Bambang Triatmodjo. 2008).

2. Pengukuran Tinggi Muka Air Otomatis

Pengamatan tinggi muka air pada papan duga pada umumnya dilakukan setiap hari (minimum sekali dalam sehari) atau pada waktu-waktu yang telah ditetapkan. Cara pengamatan yang demikian itu mengakibatkan data tinggi muka yang tercatat hanya pada jam pengamatan itu saja. Sedangkan pada jam-jam lainnya yang kemungkinan mempunyai arti yang sangat penting (seperti puncak banjir) tidak akan tercatat. Dipandang dari kepentingan untuk analisis, hal itu sangat merugikan. Untuk mengatasi hal yang demikian itu digunakan alat ukur tinggi muka air secara otomatis yang dapat merekam semua perubahan tinggi muka air secara terus menerus (AWLR = Automatic Water Level Recorder). Data yang

tercatat dengan alat AWLR ini merupakan hubungan antara tinggi muka air sebagai fungsi waktu (Stage Hydrograph). AWLR dapat dibedakan menjadi dua macam:

- 1) AWLR dengan pelampung (float) dan
- 2) Pneumatic Water Level Recorder

Keuntungan penggunaan AWLR yaitu:

- a) Pencatatan data muka air lebih tinggi lebih akurat,
- b) Tinggi muka air maksimum dan minimum tercatat secara otomatis tepat pada waktu terjadinya,
- c) Pencatatan fluktuasi muka dapat terlaksana secara otomatis,
- d) Dapat mengurangi kesalahan pengukuran karena faktor manusia.

Data pengukuran tinggi muka air di dapat dari pembacaan grafik pesawat otomatis stasiun pengamatan muka air sungai atau dari pembacaan papan duga air biasa, yang biasanya dipasang pada pilar atau landhofd dari jembatan. Data ini diamati dalam jangka waktu yang panjang pada tempat yang dapat memberi gambaran mengenai banjir disungai. Data tersebut merupakan data lapangan yang dikumpulkan dari stasiun hidrologi. Pencatatan tinggi muka air, baik yang otomatis maupun manual dibuat elevasi rata-rata harian lalu dicari harga maksimum tinggi muka air dan waktu terjadinya harga maksimum tersebut. Pengukuran tinggi muka air banjir ini dimulai dari bagian hilir ke hulu dengan menetapkan suatu titik tertentu sebagai titik awal perhitungan. Titik ini dapat berupa:

- Badan air, seperti laut danau dan waduk
- Bangunan di sungai seperti bendungan atau bendungan penahan sedimen
- Pos duga air yang mempunyai lengkung aliran dan berada dihilir daerah hitungan
- Titik awal sebarang, jika tidak ada titik acuan dengan memperhatikan :
 - Titik muka air awal sebarang tidak boleh lebih rendah daripada tinggi muka air kritik.

- Jarak antara titik awal sebarang dengan daerah hitungan harus cukup jauh.

Observasi elevasi muka air pada suatu titik ditengah sungai menunjukkan tinggi permukaan air sungai pada titik tersebut dan dinyatakan dengan tinggi terhadap suatu datum frekuensi. Biasanya datum referensi ini adalah elevasi muka air rendah maksimum dimuara sungai atau datum standar lainnya. Ada juga alat pengukur muka air otomatis yang menggunakan pelampung dalam sumuran yang dihubungkan dengan air sungai dan dapat mencatat naik turunnya pelampung pada kertas yang dipasangkan mengelilingi silinder yang diputar oleh mekanisme jam, selain tipe pelampung ada juga tipe gelembung udara, tipe tekanan air supersonic dan tipe tekanan elektrik. Sebagai pencatat biasanya digunakan tipe analog dan akhir-akhir ini mulai menggunakan tipe digital. Alat-alat pengukur muka air dipasang pada titik-titik yang penting untuk keperluan perencanaan persungai, pelaksanaan pekerjaan persungai dan pemeliharaan sungai, alat-alat ini tidak boleh dipasang pada lokasi yang arus sungainya deras, dasar sungainya mencolok dan gelombangnya besar.

Tetapi sebaliknya supaya dipasang pada lokasi pemeliharaan dan eksploitasinya mudah. Elevasi muka air Bendung berkaitan dengan elevasi sungai tertinggi dan elevasi sungai terendah. Setelah menganalisis tampang bendung, kemudian dapat diperoleh elevasi mercu Bendung. Selanjutnya dapat dihitung kontrol muka air di Hulu dan di hilir bendung. (Soewarno, 1995)

2.7 Hidrograf

Hidrograf dapat digambarkan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu (Sri Harto, 1993). Sedangkan hidrograf limpasan didefinisikan sebagai grafik yang kontinu yang menunjukkan sifat-sifat dari aliran sungai berkaitan dengan waktu. Normalnya diperoleh dari garis pencatatan kontinu yang mengindikasikan debit dengan waktu.

Hidrograf memberikan gambaran mengenai berbagai kondisi (karakteristik) yang ada di DAS secara bersama-sama, sehingga apabila karakteristik DAS

berubah maka akan menyebabkan perubahan bentuk hidrograf (Sosrodarsono & Takeda, 1983). Hidrograf juga menunjukkan tanggapan menyeluruh DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadi masukan.

Linsley et al (1982) menyatakan terdapat 3 komponen penyusun hidrograf, yaitu :

1) Aliran di atas tanah (*overland flow/surface runoff*)

Merupakan air yang dalam perjalanannya menuju saluran permukaan tanah

2) Aliran bawah permukaan (*interflow/subsurface stream flow*)

Merupakan sebagian air yang memasuki permukaan tanah dan bergerak ke samping lapisan atas tanah sampai saluran sungai. Kecepatan pergerakan aliran bawah permukaan ini lebih lambat dibandingkan dengan aliran permukaan.

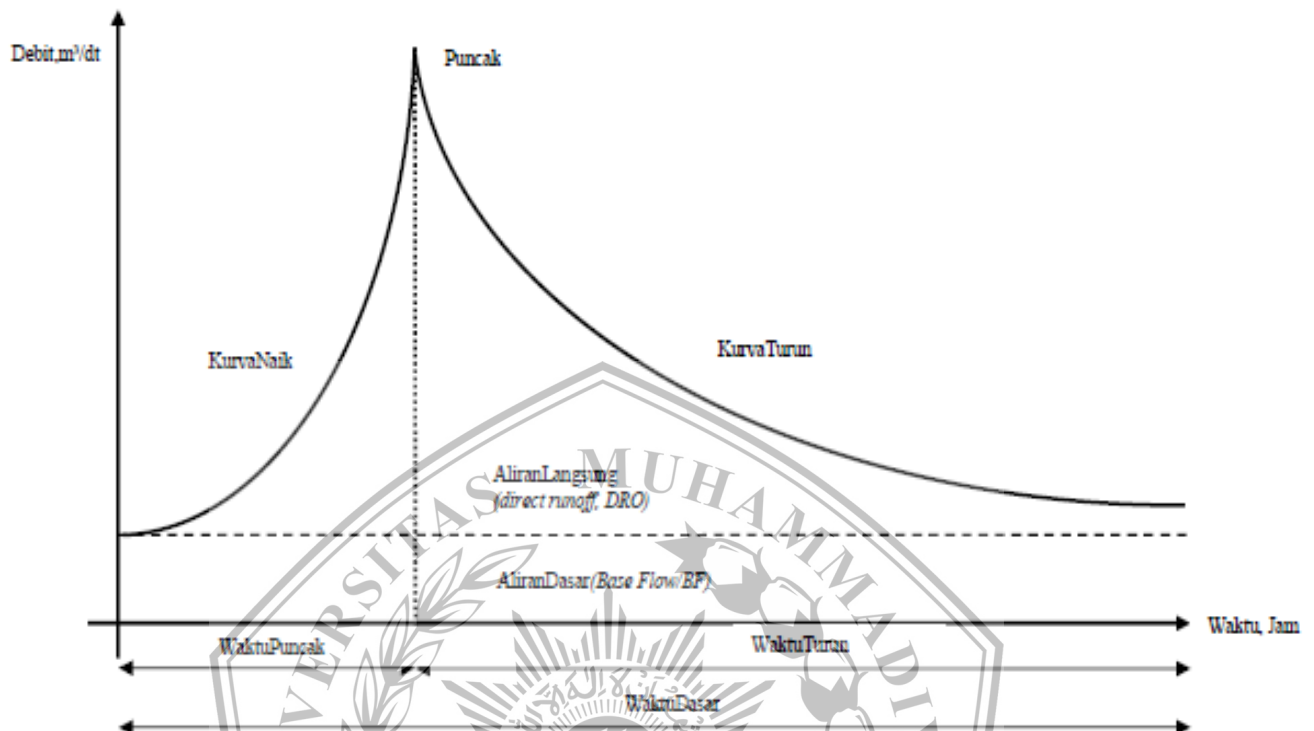
3) Aliran air tanah (*ground water flow*)

Ground Water flow disebut juga dengan aliran air dasar

Sedangkan Viessman et al (1989) menambahkan satu komponen hidrograf terdiri dari :

1. Aliran permukaan langsung
2. Aliran antara (*interflow*)
3. Air tanah atau aliran dasar

4. Presipitasi di saluran air (*channel precipitation*)



Gambar 2.4 Komponen Hidrograf aliran sungai

2.7.1 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Nakayasu dari Jepang telah menyelidiki hidrograf satuan pola beberapa sungai di Jepang. Nakayasu membuat rumus hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya. Rumus yang dihasilkan adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987) :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{3,6 (0,3T_p + T_0,3)} \quad (2.20)$$

Dengan,

Q_p = besarnya debit puncak banjir (m^3/dt)

A = catchment area (km^2)

R_0 = curah hujan satuan (mm)

T_p = waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

Untuk menghitung T_p dan $T_{0,3}$ digunakan rumus :

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \quad (2.21)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \quad (2.22)$$

$$T_r = 0,75 \cdot T_g \quad (2.23)$$

Dengan:

a. Jika panjang sungai > 15 km $\rightarrow T_g = 0,4 + 0,058L$

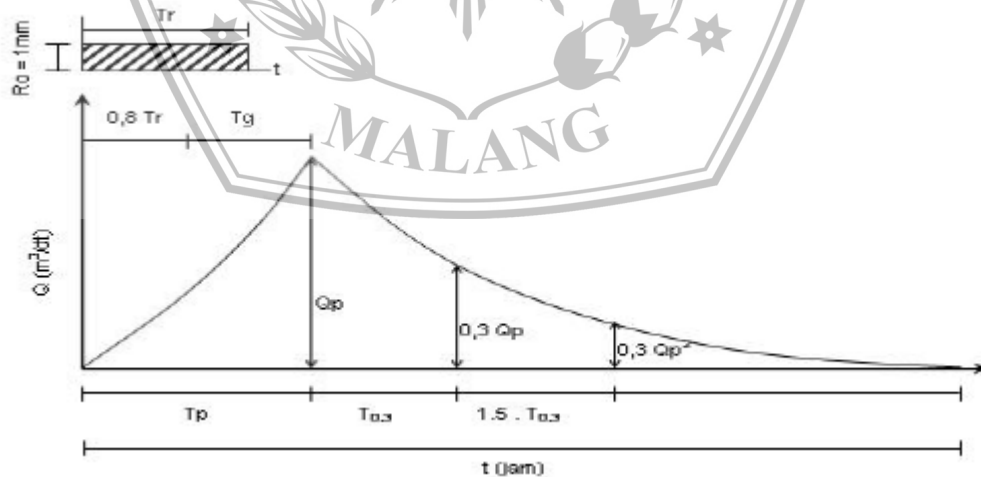
b. Jika panjang sungai < 15 km $\rightarrow T_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$

dengan,

T_g = time lag, yaitu waktu antara permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

α = parameter hidrograf

L = Panjang alur sungai (km)



Gambar 2.5 Sketsa Hidrograf Satuan Sintetik Model Nakayasu

Hidrograf satuan sintetik Nakayasu telah berulang kali di terapkan di Sungai-sungai di Indonesia. Hingga saat ini hasilnya cukup memuaskan. Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya sebagai berikut:

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak (time of peak)
2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (time lag)
3. Tenggang waktu hidrograf (time base of hydrograph)
4. Luas daerah tangkapan air
5. Panjang alur sungai utama terpanjang (length of the longest channel)
6. Koefisien pengaliran

Dari beberapa metode penelusuran banjir yang ada, metode Nakayasu relevan untuk penelusuran banjir di sungai-sungai Indonesia.

2.7.2 Hidrograf Satuan Sintetik Soil Conservation Services (SCS)

HSS Soil Conservation Services (SCS) adalah hidrograf satuan tak berdimensi yang dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit (q) terhadap debit puncak (q_p) dan waktu sebagai nisbah waktu (t) terhadap waktu puncak (t_p). Mengingat model HSS US SCS juga dikembangkan berdasarkan data empiris, maka model ini harus diuji keberlakuannya pada DAS lain melalui langkah-langkah kalibrasi dan verifikasi yang semestinya sehingga model HSS yang diperoleh sedapat mungkin dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Rumus yang dihasilkan adalah sebagai berikut (CB Soemarto, 1986):

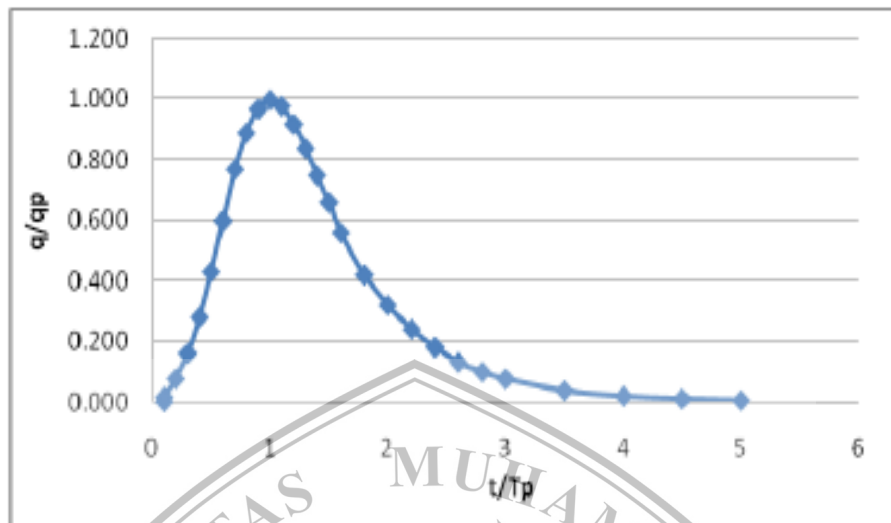
$$Q_p = \frac{C \cdot A}{T_p} \quad (2.24)$$

Dengan,

Q_p = besarnya debit puncak banjir (m^3/dt)

A = luas daerah aliran (km)

T_p = waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam), $C = 2,08$



Untuk menghitung T_p digunakan rumus :

$$T_p = 0,5 \times t_r + t_p \quad (2.25)$$

$$T_p = 0,6 \times T_c \quad (2.26)$$

Dengan,

T_p = waktu puncak (jam)

T_c = waktu konsentrasi (jam)

Gambar 2.6 Sketsa Hidrograf Satuan Sintetik SCS tak berdimensi

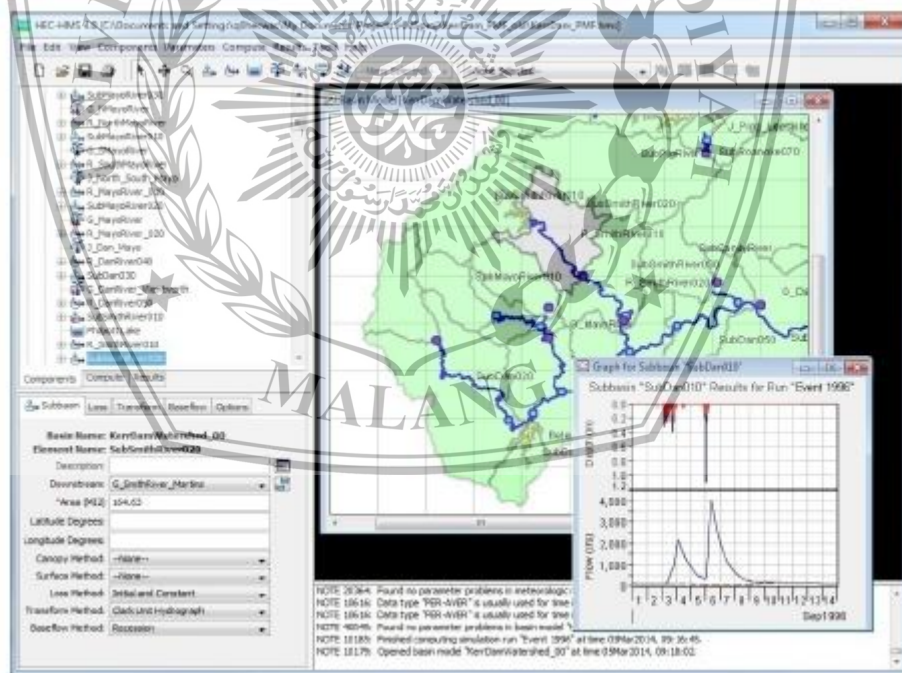
Tabel 2.10 Nilai t/T_p dan q/q_p HSS SCS

t/T_p	q/q_p	t/T_p	q/q_p	t/T_p	q/q_p
0.1	0.000	1.1	0.980	2.8	0.098
0.1	0.015	1.2	0.920	3	0.075
0.2	0.075	1.3	0.840	3.5	0.036
0.3	0.160	1.4	0.750	4	0.018
0.4	0.280	1.5	0.660	4.5	0.009
0.5	0.430	1.6	0.560	5	0.004
0.6	0.600	1.8	0.420		
0.7	0.770	2	0.320		
0.8	0.890	2.2	0.240		
0.9	0.970	2.4	0.180		

t/Tp	q/qp	t/Tp	q/qp	t/Tp	q/qp
1	1.000	2.6	0.130		

2.8 HEC HMS

Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk mensimulasikan proses hujan aliran/limpasan (rainfall-runoff) pada suatu sistem tangkapan hujan atau daerah aliran sungai (DAS). HEC-HMS dapat diterapkan secara luas untuk berbagai permasalahan diantaranya adalah ketersediaan air dan banjir di perkotaan maupun DAS alami. Hidrograf yang dihasilkan dari program ini dapat digunakan untuk studi ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, pengaruh urbanisasi, perancangan pelimpah bendungan, mitigasi dampak banjir, pengelolaan daerah genangan, hidrologi lahan basah dan operasi sistem seperti waduk, dsb.



Gambar 2.7 Contoh Userface HEC HMS

Secara umum, halaman kerja dari HEC-HMS terdiri dari jendela Dekstop, *Watershed Explorer*, *Component Editor* dan *Message Log*. Jendela Dekstop digunakan untuk memvisualisasikan model DAS yang disebut sebagai basin model

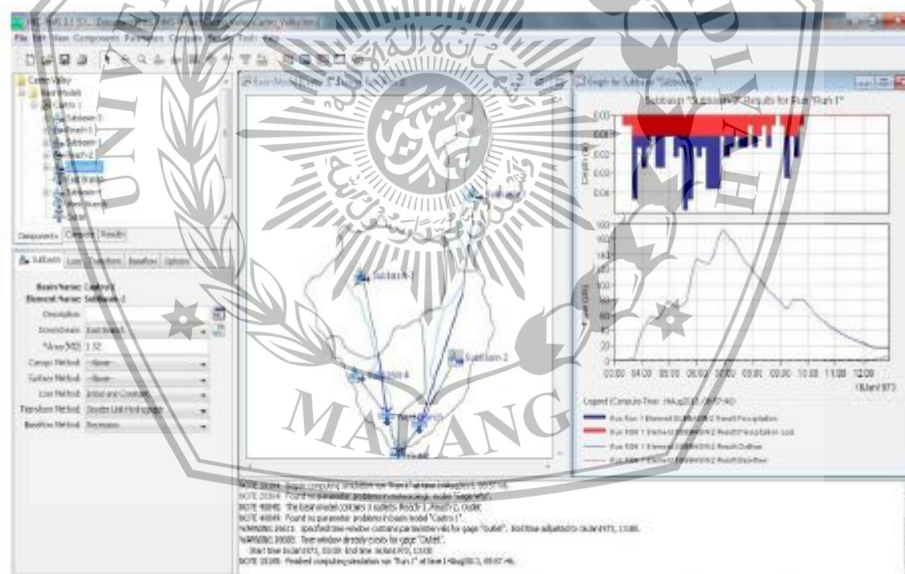
map. Dalam map ini ditampilkan model DAS yang terdiri dari elemen sub- DAS, jaringan sungai (*reach*), reservoir, dsb yang saling berhubungan dan menunjukkan jaringan drainase/sungai secara fisik. Jendela *Watershed Explorer* digunakan untuk memudahkan user dalam mengakses setiap komponen model HEC-HMS secara tepat. Jendela ini terbagi menjadi 3, yaitu *omponents*, *Compute* dan *Results*. Yang masing-masing memiliki fungsi sebagai halaman untuk menunjukkan komponen model yang ditambahkan, perhitungan/simulasi dan tampilan hasil simulasi. Jendela *Component Editor* digunakan untuk secara khusus untuk mengedit parameter-parameter dalam setiap komponen model yang ditambahkan. Berbagai pilihan metode dapat diterapkan melalui jendela ini. Jendela *Message Log* digunakan untuk menampilkan status dan laporan hasil simulasi. Jendela ini sangat membantu user dalam mengidentifikasi kesalahan yang mungkin terjadi yang menyebabkan simulasi tidak berhasil dilakukan.

Pada dasarnya, untuk membangun dan mensimulasikan suatu model hidrologi menggunakan HEC-HMS, user harus melakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Membuat project baru
2. Memasukkan data yang dibutuhkan model DAS dan meteorologi
3. Mendefinisikan karakteristik (parameter) fisik dengan membangun dan mengedit model DAS
4. Memilih metode yang sesuai untuk perhitungan hujan dan evapotranspirasi
5. Mendefinisikan *control specification* untuk periode dan tahapan waktu simulasi
6. Menggabungkan komponen model DAS, *meteorologi* dan *control specification* untuk membuat suatu simulasi.
7. Mengakses dan melihat hasil simulasi dan mengedit kembali model DAS, *meteorologi* dan *control sfecification* bila diperlukan

Pada menu *Help User* dapat mengakses dokumen seperti *Quick start Guide*, *User's Manual*, *Technical Reference Manual* dan *Applications Guide*. Disamping itu, *user* juga dapat mengakses contoh project yang telah disediakan melalui menu *Install Sample Project*, sehingga tidak kesulitan dalam mengikuti tutorial dalam dokumen tersebut. Gambar 2.8 di bawah ini menunjukkan contoh hasil simulasi yang dibuat berdasarkan tutorial yang ada.

Karena model HEC-HMS ini dapat memberikan simulasi hidrologi dari puncak aliran harian untuk perhitungan debit banjir rencana dari suatu DAS (Daerah Aliran Sungai). Maka model HEC-HMS ini mengemas berbagai macam metode yang digunakan dalam analisa hidrologi. Dalam pengoperasiannya menggunakan basis *sistem windows*, sehingga model ini menjadi mudah dipelajari dan mudah untuk digunakan, tetapi tetap dilakukan dengan pendalaman dan pemahaman dengan model yang digunakan. Di dalam model HEC-HMS



Gambar 2.8 Contoh Hasil Simulasi HEC-HMS

mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam permodelannya, antara lain hidrograf satuan sintetik *Snyder*, *Clark*, *SCS*, ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas user define hydrograph (*U.S Army Corps of Engineering*, 2001). Sedangkan untuk menyelesaikan analisis hidrologi ini, digunakan hidrograf satuan sintetik dari *SCS* (*soil conservation service*) dengan menganalisa beberapa parameternya.

Konsep dasar perhitungan dari model HEC-HMS adalah data hujan sebagai input air untuk satu atau beberapa sub daerah tangkapan air (*sub basin*) yang sedang dianalisa. Jenis datanya berupa intensitas, volume, atau komulatif volume 40 hujan. Setiap sub basin dianggap sebagai suatu tandon yang non linier dimana inflownya adalah data hujan. Aliran permukaan, infiltrasi, dan penguapan adalah komponen yang keluar dari *sub basin*.

Langkah-langkah pengerjaan estimasi debit banjir pada daerah tangkapan hujan dengan model HEC-HMS dijabarkan sebagai berikut:

- *Basin Model* (Model Daerah Tangkapan Air)

Pada basin model tersusun atas gambaran fisik daerah tangkapan air dan sungai. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dengan jaringan yang mensimulasikan proses limpasan permukaan langsung (*run off*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah *subbasin*, *reach*, dan *junction*. Pemodelan hidrograf satuan memiliki kelemahan pada luas area yang besar, maka perlu dilakukan pemisahan area *basin* menjadi beberapa *sub basin* berdasarkan percabangan sungai dan perlu diperhatikan batas batas luas daerah yang berpengaruh pada DAS tersebut.

Pada basin model ini dibutuhkan sebuah peta background yang bisa diimport dari GIS (*Geografic Information System*) ataupun CAD (*Computer Aided Design*). Untuk Autocad dibutuhkan patch (tambalan) untuk bisa mengexport gambar menjadi berakhiran “*map*”. Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah *subbasin*, *reach*, dan *junction*.

- *Sub Basin Loss Rate Method* (Proses kehilangan air)

Loss rate method adalah pemodelan untuk menghitung kehilangan air yang terjadi karena proses infiltrasi dan pengurangan tampungan. Metode yang digunakan pemodelan ini adalah *Initial and Constant Loss Method*. Konsep dasar dari metode ini memperhitungkan rata-rata kehilangan air hujan yang terjadi selama hujan berlangsung. Infiltrasi merupakan hasil dari proses penyerapan air hujan oleh permukaan tanah, sedang pengurangan tampungan akibat dari perbedaan topografi pada suatu

DAS. Air hujan yang jatuh akan diinfiltrasi atau dievaporasikan, hal ini akan sangat berpengaruh pada debit banjir yang akan mengalir pada sungai tersebut. Metode ini terdiri dari satu parameter (*Constant Rate*) dan satu kondisi yang telah ditentukan (*Initial Loss*), yang menggambarkan keadaan fisik DAS seperti tanah dan tata guna lahan.

Ada 5 metode perhitungan infiltrasi disertakan, pada Tugas Akhir ini digunakan cara perhitungan dari SCS. SCS mengembangkan parameter *curve number* empiris yang mengasumsikan berbagai faktor dari lapisan tanah, tata guna lahan, dan porositas untuk menghitung total limpasan curah hujan (Ponce and Hawkins, 1996). SCS *Curve Number* terdiri dari beberapa parameter yang harus diinput yaitu *initial loss* atau nilai infiltrasi awal, SCS *Curve Number*, dan *imperviousness* (kekedapan air).

- *Sub Basin Transform* (Transformasi hidrograf satuan limpasan)

Transform adalah permodelan metode hidrograf satuan yang digunakan. Unit hidrograf merupakan metode yang sangat familiar dan dapat diandalkan. Di HEC-HMS, hidrograf SCS dapat digunakan dengan mudah, parameter utama yang dibutuhkan adalah lag yaitu tenggang waktu (*lag time*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf. Parameter ini didasarkan pada data dari beberapa daerah tangkapan air pertanian. Waktu lag didapat sama dengan 0,6 kali waktu konsisten (E.E Daniil S.N Michaas, 2005). Parameter tersebut dibutuhkan untuk menghiung puncak dan waktu hidrograf, secara otomatis model SCS akan membentuk ordinat-ordinat untuk puncak hidrograf dan fungsi waktu.

Time lag (tp) dapat dicari dengan rumus:

$$p = 0,6 \times T_c \quad (2.36)$$

$$T_c = 0,0194 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (2.37)$$

Dengan,

L = panjang lintasan maksimum (m)

S = kemiringan rata-rata

Tc = waktu konsentrasi (menit)

- *Sub Basin Baseflow Method* (Proses Aliran Dasar)

Baseflow dapat diartikan sebagai aliran dasar, model ini digunakan untuk menggambarkan aliran dasar yang terjadi pada saat limpasan, sehingga dapat dihitung tinggi puncak hidrograf yang terjadi. Metode *Sub Basin Baseflow* ini dapat dimodelkan dengan salah satu dari tiga metode yang berbeda, yaitu *Constant Monthly*, *Linear Reservoir* dan *Recession*. Metode *Constant Monthly* atau *Recession* dapat digunakan secara umum pada subbasin. Pada permodelan digunakan metode *Recession* (resesi) dengan anggapan bahwa aliran dasar selalu ada dan memiliki puncak hidrograf pada satu satuan waktu dan mempunyai keterkaitan dengan curah hujan (Presipitasi)

Parameter yang digunakan dalam model resesi ini adalah *Initial Flow*, *Recession Ratio*, dan *Threshold Flow*. *Initial Flow* merupakan nilai aliran dasar awal yang dapat dihitung atau dari data observasi, *Recession Ratio Constant* adalah nilai rasio antara aliran yang terjadi sekarang dan kemarin secara konstan, yang memiliki nilai 0 sampai 1. Sedangkan *Threshold Flow* adalah nilai ambang pemisah aliran limpasan dan aliran dasar. Untuk menghitung aliran ini dapat digunakan cara eksponensial atau diasumsikan dengan nilai besar rasio dari puncak ke puncak (*peak to peak*) (*US Army Corps of Engineering, 2001*).

- *Meteorologic Model* (Model data curah hujan)

Meteorologic Model merupakan masukan data curah hujan (presipitasi) efektif dapat berupa 15 menitan atau jam-jaman. Desain *hyetograph* harus didasarkan pencatatan kejadian hujan nyata. Perlu diperhatikan curah hujan kawasan diperoleh dari hujan rata-rata metode Thiessen dengan memperhatikan pengaruh stasiun-stasiun curah hujan pada kawasan tersebut. Curah hujan jam-jaman tersebut dapat digambarkan menjadi sebuah *stage hyetograph*.

- *Run Configuration* (Konfigurasi eksekusi data)

Setelah semua variabel masukan diatas dimasukkan, untuk mengeksekusi pemodelan agar dapat berjalan, maka basin model dan meteorologic model harus disatukan. Hasil eksekusi metode ini dapat dilihat dalam grafik dan nilai outputnya. Hasil output ini merupakan debit banjir rencana untuk periode ulang 100 tahunan. Untuk melihat hasil grafik

limpasan atau tabel dapat langsung dengan mengklik elemen, simpul maupun penghubung elemen.

